

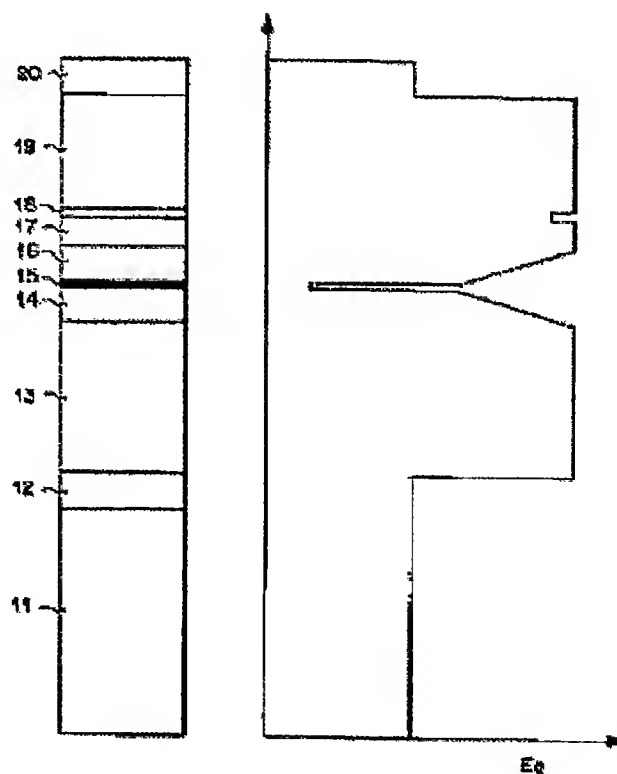
# SEMICONDUCTOR DEVICE

**Publication number:** JP2001015863  
**Publication date:** 2001-01-19  
**Inventor:** MIZUYOSHI AKIRA  
**Applicant:** FUJI PHOTO FILM CO LTD  
**Classification:**  
- **international:** **H01S5/343; H01S5/00;** (IPC1-7): H01S5/343  
- **European:**  
**Application number:** JP19990185579 19990630  
**Priority number(s):** JP19990185579 19990630

Report a data error here

## Abstract of JP2001015863

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve characteristics of a semiconductor laser device having a distortion in the active layer and improve a long term reliability. **SOLUTION:** An N-type GaAs buffer layer 12, an N-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer 13, an  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  and  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}_{0.74}\text{P}_{0.26}$  (undoped) composition and strain gradient barrier layer 14, an InGaAs (undoped) active layer 15, an  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}_{0.74}\text{P}_{0.26}$  and  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  (undoped) composition and strain gradient barrier layer 16, a P-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer 17, a P-type  $\text{In}_{0.484}\text{Ga}_{0.516}\text{P}$  etching stop layer 18, a P-type  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  clad layer 19, and a P-type GaAs contact layer are successively laminated on an N-type GaAs substrate 11. In this case, the barrier layers 14 and 16 are gradually increased in energy gap starting from the clad layers 13 and 17 toward the active layer 15 and also the lattice constant is gradually varied from the clad layers 13 and 17 toward the active layer 15.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1]An active layer which consists of distortion quantum wells on a substrate.

Two barrier layers which sandwich this active layer.

Two cladding layers which sandwich this barrier layer.

Are the semiconductor laser device provided with the above, and a refractive index of said barrier layer An interface of this barrier layer and said cladding layer, Or it is becoming large gradually toward said active layer out of this barrier layer, and a grating constant of said barrier layer is changing from the inside of an interface of this barrier layer and said cladding layer, or this barrier layer gradually toward said active layer.

[Claim 2]The semiconductor laser device according to claim 1, wherein said active layer is multiple quantum well structure.

[Claim 3]The semiconductor laser device according to claim 1 or 2 with which an oscillation wavelength is characterized by not less than 870-nm being 1100 nm or less.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Especially this invention has distortion in an active layer about a semiconductor laser device, and relates to the semiconductor laser device of GRIN-SCH structure with which the refractive index of the barrier layer is becoming large gradually toward the active layer.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, of the semiconductor laser device, high quality and advanced features come to be required and the formation of low threshold current of a laser device, efficient-ization, etc. came to be required. Then, efficiently, convey a career to an active layer and the formation of low threshold current, and in order to form low driving current, The GRIN-SCH (Graded-Index-Separate-Confinement-Heterostructure) structure the refractive index of the barrier layer which sandwiches an active layer was made to become high stair-like toward an active layer came to be taken.

[0003] In Appl. Phys. Lett. of the 1982 issue about the semiconductor laser element of this GRIN-SCH structure, vol. 40, and p. 217-219, W. Are based on Tsang. "Extremely low threshold (AlGaAs) As graded-index waveguide separate-confinement heterostructure lasers by molecular beam epitaxy." This structure is an especially suitable structure, when using quantum well structure for the active layer for performing eye career \*\*\*\*\* which is a requisite of a semiconductor laser element, and optical confinement. The effect of it controlling the hetero spike produced in a cladding layer and a barrier layer interface as compared with the usual SCH (Separate-Confinement-Heterostructure) structure, and reducing element resistance, It is because it is effective in an electric field being formed in a barrier layer and the carrier injection efficiency to an active layer improving.

[0004] However, in this structure, there was a fault in which an active layer and a substrate have the same grating constant, and other presentation inclination barrier layers and cladding layers also have the almost same grating constant as a substrate that the width of selection of the presentation which is constituted by the so-called crystal of a lattice matching system, and constitutes an active layer was narrow.

[0005] When distortion is given to the active layer of a semiconductor laser element on the other hand when the grating constant of an active layer differs from the grating constant of a substrate that is, In Appl. Phys. Lett. Vol. 29 of the 1976 issue, No. 12, and p. 807 that the characteristics, such as oscillation threshold current of a semiconductor laser element, are improved, C.J. It is indicated to "C.W. room-temperature InGaAs/InGaP 1.06  $\mu$ m lasers" by Nuese, G.H. Olsen, M. Ettenberg, J.J. Gannon, and T.J. Zamerowski and others.

[0006]. Quantum-well-ize the active layer of a semiconductor laser element, and consider only the grating constant of an active layer as different composition from other layers constituted further. In Appl. Phys. Lett. vol. 44 of the 1984 issue of the so-called laser of distortion quantum well structure, No. 7, and p. 653, D. Laidig, P.J. Casldwell, Y.F. Lin, and and C.K -- it is indicated to "Strain-layer quantum-well injection laser" by Peng and others.

[0007] Also about the distortion quantum well semiconductor laser element using the GRIN-SCH

structure described previously. In Appl.Phys.Lett.Vol49 of the 1986 issue, No24, and p.1659, D. Are based on Fekete, K.T.Chan, J.M.Ballantyne, and L.F.Eastman and others. "Graded-index separate-confinement InGaAs/GaAs strained-layer quantum well laser grown by metalorganic chemical vapor It is reported to deposition."

[0008]Until now, in distortion amount child well laser, when distortion of an active layer was large and suitable thickness became more than critical thickness, there was a problem that a rearrangement occurred and aggravation of the characteristic arose during a crystal. Then, the thing for which distortion and direction of an active layer use a reverse crystal for the barrier layer of the both sides of a quantum well layer when putting a large distortion into an active layer, In Journal of Appl.Phys. of the 1989 issue, Vol65, No12, and p.4789, . Are based on Allen Vawter and D.R.Myers and others. It is indicated to "Useful design relationships for engineering of thermodynamically stable strained-layer structure." Here, from introducing a distortion contrary to an active layer, since the selection range of mix crystal material can be extended, it is reported that the oscillation wavelength region was able to be made to expand and that the improvement of the further characteristic was made. Henceforth, the above active layers are called the distortion compensation type active layer.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]As mentioned above, in the quantum well laser which has distortion in an active layer, when it was an active layer with a dramatically large distortion, since suitable quantum well width was close to critical thickness, by the usual crystal growth method, good crystal quality was not acquired but there was a problem that the semiconductor laser characteristic fell.

[0010]Distortion of an active layer is small, when a crystal growth top does not produce a problem at all, the selection range of mix crystal material is extended and to have the structure which can expand the oscillation wavelength range is desired.

[0011]Therefore, in distortion quantum well laser, it is required to have the element structure which maintains the further good characteristic.

[0012]In light of the above-mentioned circumstances, in distortion quantum well laser, this invention improves the characteristic and an object of this invention is to provide a semiconductor laser device with high long term reliability.

[0013]

[Means for Solving the Problem]In a semiconductor laser device with which a semiconductor laser device of this invention was provided with an active layer which consists of distortion quantum wells, two barrier layers which sandwich this active layer, and two cladding layers which sandwich this barrier layer on a substrate, A refractive index of said barrier layer is becoming large gradually toward an active layer out of an interface of this barrier layer and a cladding layer, or this barrier layer, And a grating constant of a barrier layer is changing from the inside of an interface of a barrier layer and a cladding layer, or this barrier layer gradually toward an active layer.

[0014]An active layer may be multiple quantum well structure.

[0015]It is more effective that an oscillation wavelength applies this invention by the above-mentioned composition to not less than 870-nm the semiconductor laser device which is 1100 nm or less.

[0016]

[Effect of the Invention]In the semiconductor laser device which was provided with the active layer which consists of distortion quantum wells, two barrier layers which sandwich this active layer, and two cladding layers which sandwich this barrier layer on the substrate according to the semiconductor laser device of this invention, The refractive index of a barrier layer is gradually enlarged toward an active layer from the inside of the interface of a barrier layer and a cladding layer, or a barrier layer, And by changing the grating constant of a barrier layer from the inside of the interface of a barrier layer and a cladding layer, or a barrier layer gradually toward an active layer, Since the element resistance reduction effect which makes small change of the band offset in a barrier layer, and GRIN-SCH structure has, and efficient-ization of career pouring can be pulled out to the maximum extent, Element resistance can be reduced and the

characteristics, such as reduction of the threshold current of an element, reduction in driving current, and efficient-izing, can be improved. Therefore, a stable output can be obtained and long term reliability can be raised.

[0017] Since this invention can draw out especially the element resistance reduction effect which GRIN-SCH structure has, and efficient-ization of carrier pouring to the maximum extent when distortion of an active layer is small and the effect of the characteristic improvement by distortion is small, an improvement of the above characteristics is possible.

[0018] A big distortion can be given to an active layer, without being influenced by the thickness of a barrier layer by making a refractive index and a grating constant incline toward an active layer from the middle of a barrier layer, when the thickness of a barrier layer is close to critical thickness.

[0019] Threshold current can be further reduced by making the above-mentioned active layer into multiple quantum well structure.

[0020] In order that an oscillation wavelength may determine an oscillation wavelength like an 870 to 1100-nm semiconductor laser device, when the presentation of an active layer is not restricted or the good characteristic is not obtained, it is more effective to apply this invention by the above-mentioned composition.

[0021]

[Embodiment of the Invention] A drawing is used for below and an embodiment of the invention is described to it in detail.

[0022] Drawing 1 shows the sectional view of the laminating direction of the semiconductor laser element of the oscillation wavelength 1060 nm band by a 1st embodiment of this invention.

[0023] The active layer of the semiconductor laser element by this embodiment is InGaAs, and its lattice constant difference with a substrate is large, and it has the structure where big compressive strain are added to an active layer.

[0024] As shown in drawing 1, the semiconductor laser element by this embodiment, On the n type GaAs substrate (the carrier concentration  $7 - 20 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) 11, an organic-metal-vapor-growth (MOCVD) method, By or a molecular beam epitaxy (MBE) method. N type GaAs about 200-600 nm thick. (The carrier concentration  $7 - 20 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) The buffer layer 12, 2-micrometer-thick n type aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As. (The carrier concentration  $5 - 15 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) An aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As → aluminum<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>As<sub>0.74</sub>P<sub>0.26</sub> (non dope) presentation (the cladding layer 13 and 100 nm in thickness). And an aluminum<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>As<sub>0.74</sub>P<sub>0.26</sub> → aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As (non dope) presentation (the distortion inclination barrier layer 14, the 5-nm-thick In<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As (non dope) active layer 15, and 100 nm in thickness). And the distortion inclination barrier layer 16, the 400-nm-thick p type aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As (carrier concentration  $5 - 20 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) cladding layer 17, The p type In<sub>0.484</sub>Ga<sub>0.516</sub>P (carrier concentration  $5 - 15 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) etching stop layer 18 about 4-10 nm thick, 1.6-micrometer-thick p type aluminum<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As. (The carrier concentration  $5 - 20 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) The cladding layer 19 and a p type GaAs (carrier concentration  $5 - 30 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) contact layer about 150-500 nm thick consist of a crystal laminated one by one.

[0025] The energy gap of the crystal which did in this way and was laminated by drawing 2 is shown. As shown in drawing 2, the active layer 15 has compressive strain to the substrate. The energy gap (Eg) is small toward a cladding layer to the active layer, and such a structure is the structure called what is called GRIN-SCH (Graded-Index-Separate-Confinement-Heterostructure).

[0026] The grating constant to GaAs of the laminated crystal is shown in drawing 3. The structure of a laminating direction is shown on the vertical axis of drawing 3, and the grating constant to GaAs of this crystal layer is shown on the horizontal axis. As shown in drawing 3, the structure of the semiconductor laser element in this embodiment differing from the conventional GRIN-SCH structure is having made it the grating constant of the barrier layer 14

shown by drawing 1 become small gradually toward the interface of the cladding layer 13 and the barrier layer 14 to the active layer 15. The same may be said of another barrier layer 16. The distortion of two barrier layers has a hauling distortion contrary to distortion of an active layer. [0027] Thus, it is compensated by the barrier layer which the compressive strain of an active layer pulls and has distortion by giving a distortion contrary to distortion of an active layer to a barrier layer. By making distortion of a barrier layer incline, change of the band offset in a barrier layer can be made small, and the element resistance reduction effect which GRIN-SCH structure has, and efficient-ization of carrier pouring can be utilized for the maximum.

[0028] Next, ridge structure is stated to an example about the process of element-izing of the crystal mentioned above. In the sample after crystal growth, the resist pattern for ridge etching processings is created according to the usual photo lithography process, for example, etching removal of a p type GaAs contact layer and the p type AlGaAs clad layer is carried out with a tartaric acid system etching reagent. Since etching stop layer p type InGaP has the dramatically slow etch rate to a tartaric acid system etching reagent as compared with a p type GaAs contact layer and a p type AlGaAs clad layer at this time, ridge shape is easily acquired by etching by suitable etching time. Then, a resist pattern is removed and about 100–200 nm of dielectric films, such as  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , are deposited on it.

[0029] Next, in order to open the window for electrode contact in a ridge apex part, resist is patterned according to the photolithography process described previously, and etching removal of the dielectric film of a ridge apex part is carried out by methods, such as active ion etching using fluorine system gas. Then, for example, it vapor-deposits with electron beam evaporation method etc. in order of Ti/Pt/Au (each thickness is 50 nm/80 nm/300 nm, for example), and p lateral electrode is formed. Next, in order to make creation of a resonator easy by cleavage, the thickness of a sample is ground to about 120–150 micrometers, and thickness is deposited for n lateral electrode at 50 nm, 30 nm, and about 300 nm in order of AuGe/nickel/Au, combining electron beam evaporation method and resistance heating vacuum deposition. Then, in order to acquire ohmic contact of an electrode, 400 °C of electrodes are made to react about 1 minute.

[0030] Next, it is a position, and cleavage is carried out to bar shape at intervals of a predetermined interval, for example, 750 micrometers, and coating by a dielectric film is carried out as follows to each end face by which cleavage was carried out. Here, the figure of one semiconductor laser element which carries out cleavage of the figure with which the dielectric film was coated, and is made later is shown in drawing 4. The aluminum $_2\text{O}_3$  film 41 is deposited on the light emitting surface by which bar cleavage was carried out by predetermined thickness, for example, the Ion Assisted electron beam evaporation method etc., so that the reflectance to the oscillation wavelength of 950 nm may be about 10%. So that the reflectance to the oscillation wavelength of 1060 nm may be not less than 80% using the same technique as the end face of an opposite hand, the 1st — layer 42 — aluminum $_2\text{O}_3$  — it  $\text{TiO}_2$  (ing) and 43 [ layer / 2nd ], the 3rd — layer 44 —  $\text{SiO}_2$  and the 4th — layer 45 —  $\text{TiO}_2$  and the 5th — layer 46 —  $\text{SiO}_2$  and the 6th — layer 47 —  $\text{TiO}_2$  — 48 [ layer / 7th ] is made into  $\text{SiO}_2$  and a dielectric multilayer is deposited on predetermined thickness.

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The figure showing the section structure of the laminating direction of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 1st embodiment

[Drawing 2]The figure showing the energy gap of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 1st embodiment

[Drawing 3]The figure showing the grating constant of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 1st embodiment

[Drawing 4]The \*\*\* figure showing the semiconductor laser element by a 1st embodiment

[Drawing 5]The figure showing the section structure of the laminating direction of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 2nd embodiment

[Drawing 6]The figure showing the energy gap of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 2nd embodiment

[Drawing 7]The figure showing the grating constant of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 2nd embodiment

[Drawing 8]The figure showing the grating constant of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 3rd embodiment

[Drawing 9]The figure showing the grating constant of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 4th embodiment

[Drawing 10]The figure showing the energy gap of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 5th embodiment

[Drawing 11]The figure showing the grating constant of the crystal which constitutes the semiconductor laser element by a 5th embodiment

[Description of Notations]

11, 51, 81, 91,101 GaAs substrates

13,17,19, 53,57,59, 83, 87,89,93, 97, 99,103,107,109 cladding layers

14, 16, 54, 56, 84, 86, 94, 96,104,106 barrier layers

15, 55, 85, and 95,105 Active layer

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

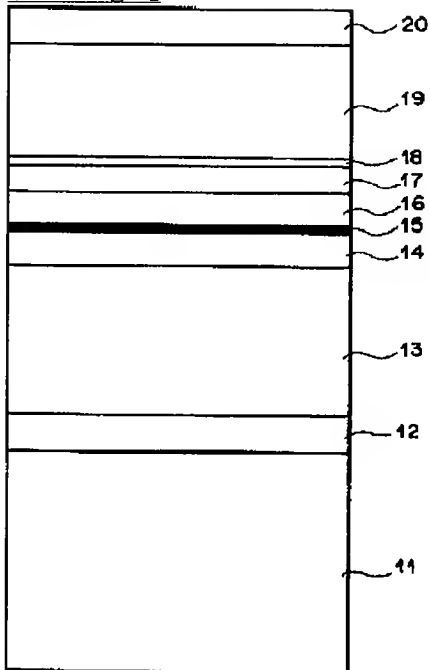
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

**DRAWINGS**

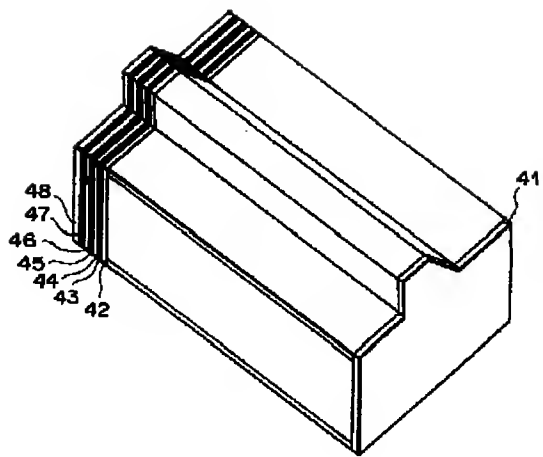
[Drawing 1]



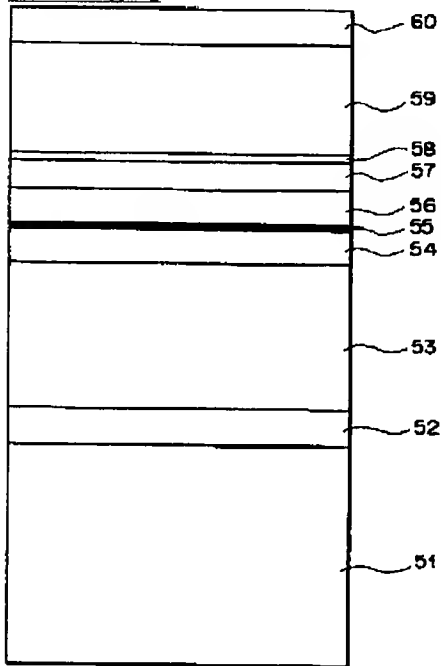
[Drawing 2]



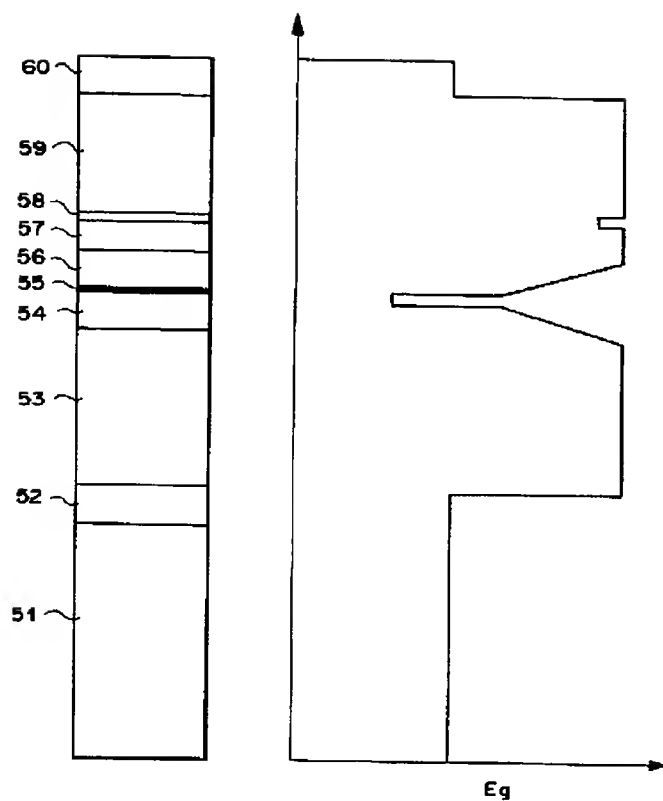




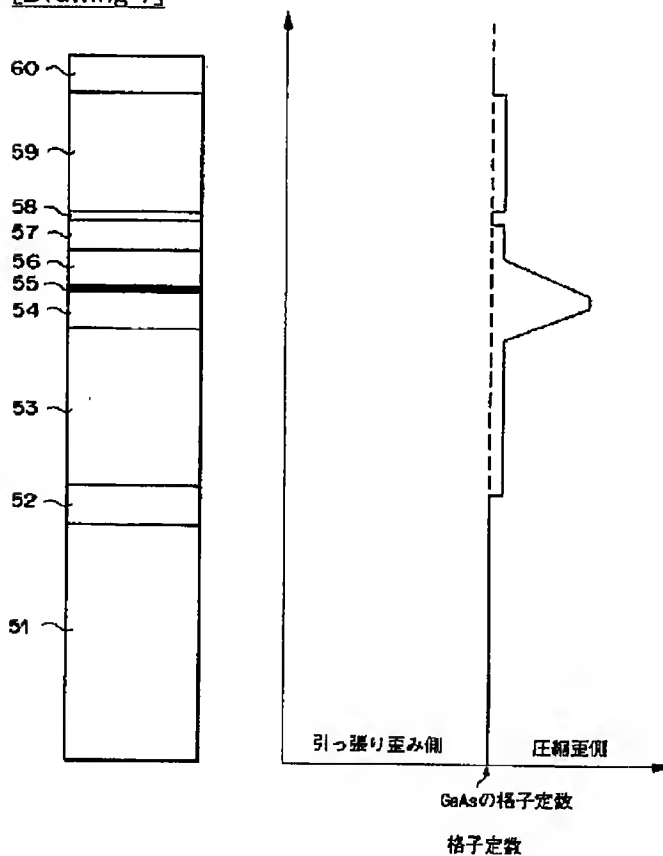
[Drawing 5]



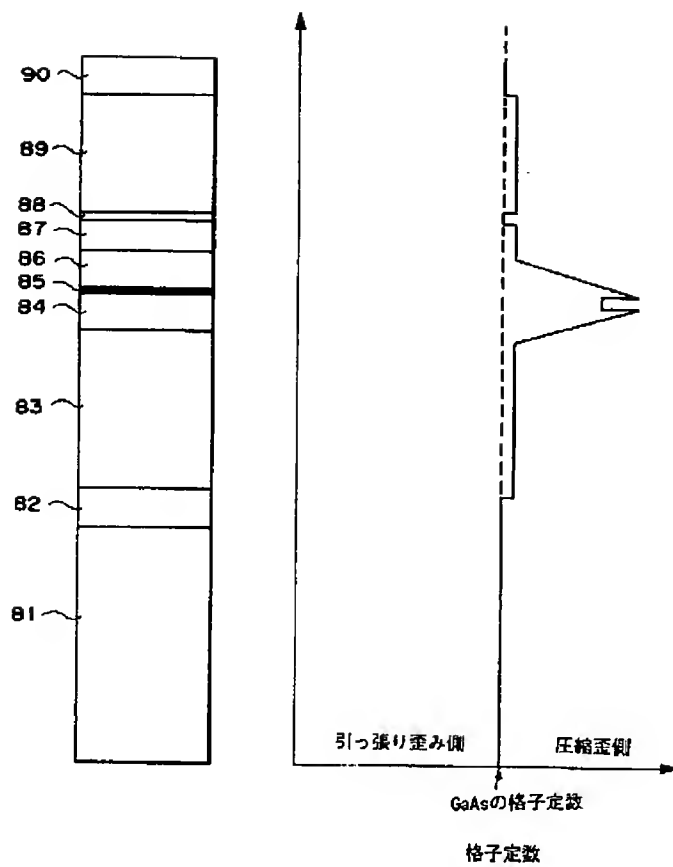
[Drawing 6]



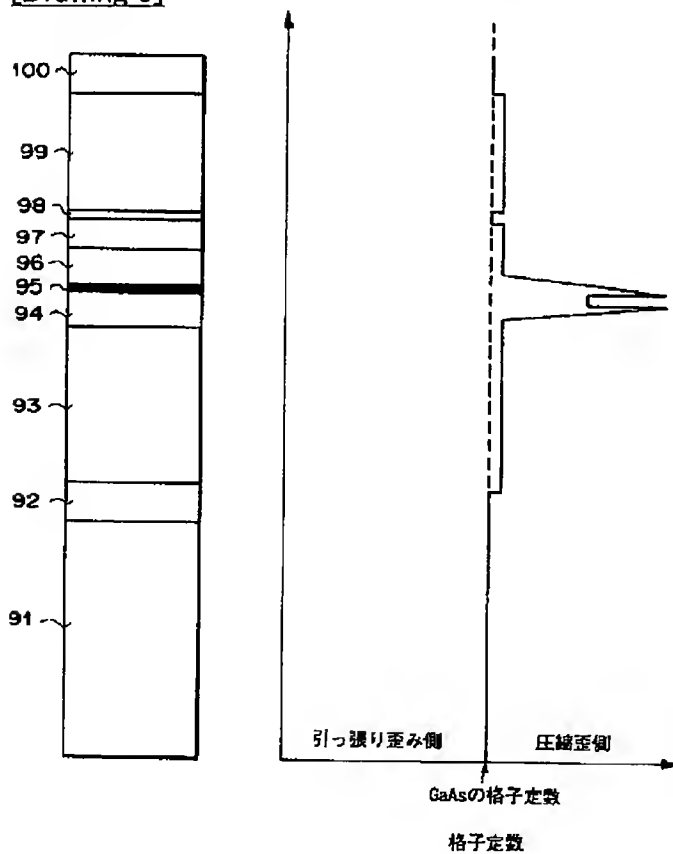
[Drawing 7]



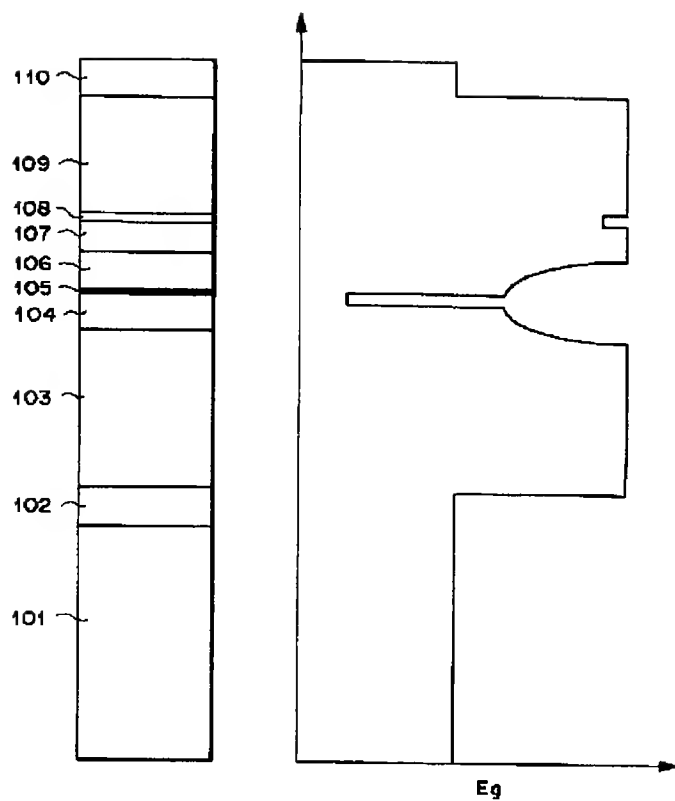
[Drawing 8]



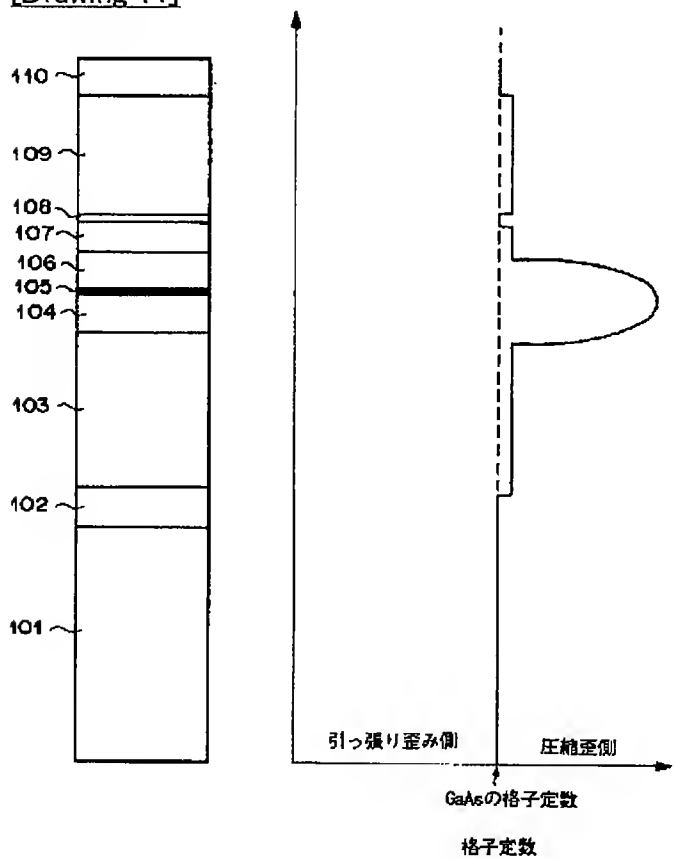
[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Drawing 11]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-15863  
(P2001-15863A)

(43)公開日 平成13年1月19日(2001.1.19)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームト\*(参考)

H 0 1 S 5/343

H 0 1 S 5/343

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 10 頁)

(21)出願番号

特願平11-185579

(22)出願日

平成11年6月30日(1999.6.30)

(71)出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72)発明者 水由 明

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(74)代理人 100073184

弁理士 柳田 征史 (外1名)

Fターム(参考) 5F073 AA13 AA46 AA53 AA74 CA07

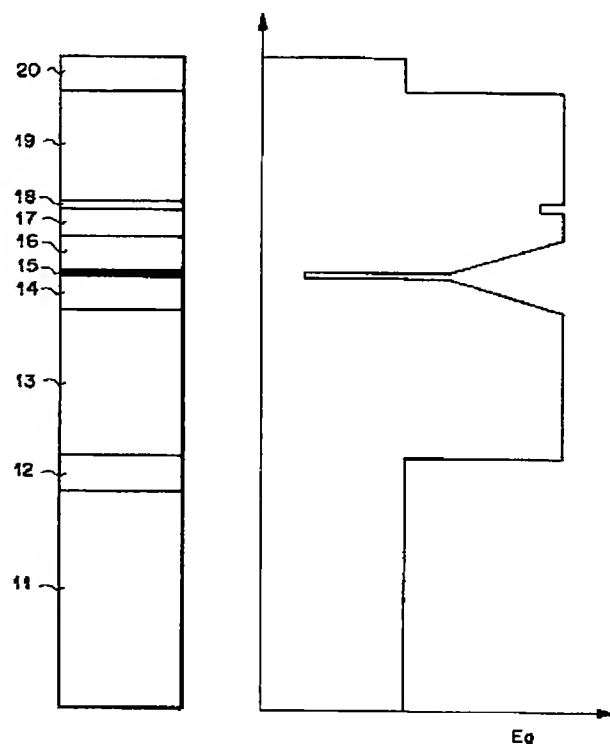
DA05 DA06 DA22 EA28

(54)【発明の名称】 半導体レーザ装置

(57)【要約】

【課題】 活性層に歪みを有する半導体レーザ素子において、特性を改善し、長期信頼性を向上させる。

【解決手段】 n型GaAs基板11上に、n型GaAsバッファ層12、n型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層13、Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As→Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>As<sub>0.74</sub>P<sub>0.26</sub>(ノンドープ)組成及び歪み傾斜バリア層14、In<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As(ノンドープ)活性層15、Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>As<sub>0.74</sub>P<sub>0.26</sub>→Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As(ノンドープ)組成及び歪み傾斜バリア層16、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層17、p型In<sub>0.484</sub>Ga<sub>0.516</sub>Pエッチングストップ層18、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層19、p型GaAsコンタクト層を順次積層する。バリア層14および16のエネルギーギャップをクラッド層13および17から活性層15に向かって徐々に大きくし、かつ、格子定数をクラッド層13および17から活性層15に向かって徐々に変化させる。



**【特許請求の範囲】**

**【請求項 1】** 基板上に、歪量子井戸からなる活性層と、該活性層を挟む 2 つのバリア層と、該バリア層を挟む 2 つのクラッド層とを備えた半導体レーザ装置において、前記バリア層の屈折率が、該バリア層と前記クラッド層の界面、あるいは該バリア層内から前記活性層に向かって徐々に大きくなっており、かつ、前記バリア層の格子定数が、該バリア層と前記クラッド層の界面、あるいは該バリア層内から前記活性層に向かって徐々に変化していることを特徴とする半導体レーザ装置。

**【請求項 2】** 前記活性層が多重量子井戸構造であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ装置。

**【請求項 3】** 発振波長が 870nm 以上 1100nm 以下であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体レーザ装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【発明の属する技術分野】** 本発明は、半導体レーザ装置 20 に関し、特に、活性層に歪みを有し、バリア層の屈折率が活性層に向かって徐々に大きくなっている GRIN-SCH 構造の半導体レーザ装置に関するものである。

**【0002】**

**【従来の技術】** 近年、半導体レーザ装置は、高品質、高機能化が要求されるようになり、レーザ装置の低しきい値電流化、高効率化等が要求されるようになった。そこで、キャリアを効率よく活性層に輸送して、低しきい値電流化、低駆動電流化するために、活性層を挟むバリア層の屈折率を活性層に向かって階段状に高くなるように 30 した、GRIN-SCH (Graded-Index-Separate-Confinement-Heterostructure) 構造が採られるようになった。

**【0003】** この GRIN-SCH 構造の半導体レーザ素子について、1982 年発行の Appl. Phys. Lett., vol. 40, p. 217-219 において、W. Tsang による、“Extremely low threshold (AlGaAs)As graded-index waveguide separate-confinement heterostructure lasers by molecular beam epitaxy” に記載されている。本構造は半導体レーザ素子の必要要件であるキャリア閉じ込め、及び光閉じ込めを行うための、活性層に量子井戸構造を用いる場合には、とりわけ好適な構造である。それは、通常の SCH (Separate-Confinement-Heterostructure) 構造と比較し、クラッド層とバリア層界面で生じるヘテロスパイクを抑制し、素子抵抗を低減する効果と、バリア層に電界が形成され、活性層へのキャリア注入効率が向上する効果があるためである。

**【0004】** しかしながら、本構造では、活性層と基板は同じ格子定数を持ち、また、他の組成傾斜バリア層やクラッド層も基板とほぼ同じ格子定数を持つ、いわゆる 50

格子整合系の結晶で構成されており、活性層を構成する組成の選択の幅が狭いという欠点があった。

**【0005】** 一方、活性層の格子定数と基板の格子定数が異なる場合、つまり半導体レーザ素子の活性層に歪みを持たせた場合、半導体レーザ素子の発振閾値電流等の特性が改善されることが、1976 年発行の Appl. Phys. Lett. Vol29, No. 12, p807 において、C. J. Nuese, G. H. Olsen, M. Ettenberg, J. J. Gannon, and T. J. Zamerowski らによる、“C. W. room-temperature InGaAs/InGaP 1.06nm lasers” に記載されている。

**【0006】** また、半導体レーザ素子の活性層を量子井戸化し、さらに活性層の格子定数のみを他の構成される層と異なった構成とする、いわゆる歪量子井戸構造のレーザが、1984 年発行の Appl. Phys. Lett. vol44, No. 7, p. 653 において、D. Laidig, P. J. Casldwell, Y. F. Lin, and C. K. Peng らによる “Strained-layer quantum-well injection laser” に記載されている。

**【0007】** また、先に述べた GRIN-SCH 構造を用いた歪量子井戸半導体レーザ素子についても、1986 年発行の Appl. Phys. Lett. Vol49, No24, p. 1659 において、D. Fekete, K. T. Chan, J. M. Ballantyne, and L. F. Eastman らによる、“Graded-index separate-confinement InGaAs/GaAs strained-layer quantum well laser grown by metalorganic chemical vapor deposition” に報告されている。

**【0008】** これまで、歪み量子井戸レーザにおいて、活性層の歪みが大きい場合、適当な膜厚が臨界膜厚以上になると、結晶中に転位が発生してしまい特性の悪化が生じるという問題があった。そこで、大きい歪みを活性層に入れる場合に、活性層の歪みと向きが逆の結晶を量子井戸層の両側のバリア層に用いることが、1989 年発行の Journal of Appl. Phys., Vol65, No12, p. 4789 において、Allen Vawter and D. R. Myers らによる、“Useful design relationships for engineering of thermodynamically stable strained-layer structure” に記載されている。ここでは、活性層と逆の歪みを導入することにより、混晶材料の選択範囲を広げることができるので、発振波長域を拡大させることができたことと、さらなる特性の改善がなされたことが報告されている。以後、上記のような活性層は歪み補償型活性層と呼ばれている。

**【0009】**

**【発明が解決しようとする課題】** 上記のように、活性層に歪みのある量子井戸レーザにおいては、非常に歪みが大きい活性層の場合、適当な量子井戸幅が臨界膜厚に近い場合、通常の結晶成長方法では良好な結晶品質が得られず、半導体レーザ特性が低下するという問題があった。

**【0010】** また、活性層の歪みが小さく、結晶成長上は何ら問題を生じないような場合においても、混晶材料の選択範囲を広げ、発振波長範囲の拡大可能な構造を有

することが望まれている。

【0011】従って、歪量子井戸レーザにおいて、さらなる良好な特性を維持する素子構造を有することが必要である。

【0012】本発明は、上記事情に鑑みて、歪量子井戸レーザにおいて、特性を改善し、長期信頼性の高い半導体レーザ装置を提供することを目的とするものである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体レーザ装置は、基板上に、歪量子井戸からなる活性層と、該活性層を挟む2つのバリア層と、該バリア層を挟む2つのクラッド層とを備えた半導体レーザ装置において、前記バリア層の屈折率が、該バリア層とクラッド層の界面、あるいは該バリア層内から活性層に向かって徐々に大きくなっており、かつ、バリア層の格子定数が、バリア層とクラッド層の界面、あるいは該バリア層内から活性層に向かって徐々に変化していることを特徴とするものである。

【0014】また、活性層は、多重量子井戸構造であってもよい。

【0015】また、発振波長が870nm以上1100nm以下である半導体レーザ装置に上記構成による本発明を適用することはより効果的である。

【0016】

【発明の効果】本発明の半導体レーザ装置によれば、基板上に、歪量子井戸からなる活性層と、該活性層を挟む2つのバリア層と、該バリア層を挟む2つのクラッド層とを備えた半導体レーザ装置において、バリア層の屈折率を、バリア層とクラッド層の界面、あるいはバリア層内から活性層に向かって徐々に大きくし、かつ、バリア層の格子定数を、バリア層とクラッド層の界面、あるいはバリア層内から活性層に向かって徐々に変化させることにより、バリア層でのバンドオフセットの変化を小さくし、GRIN-SCH構造の持つ素子抵抗低減効果と、キャリア注入の高効率化を最大限に引き出すことができるので、素子抵抗を低減することができ、素子のしきい値電流の低減、低駆動電流化および高効率化等の特性の改善を行うことができる。よって、安定な出力を得ることができ、長期信頼性を向上させることができる。

【0017】特に、活性層の歪みが小さく、歪みによる特性改善の効果が小さい場合においても、本発明により、GRIN-SCH構造の持つ素子抵抗低減効果と、キャリア注入の高効率化を最大限に引き出すことができるので前述のような特性の改善が可能である。

【0018】また、バリア層の膜厚が臨界膜厚に近い場合には、バリア層の途中から屈折率および格子定数を活性層に向かって傾斜させることにより、バリア層の厚さの影響を受けることなく、活性層に大きな歪みを持たせることができる。

【0019】また、上記活性層を多重量子井戸構造とす

ることによって、さらに、しきい値電流を低減することができる。

【0020】また、発振波長が、870nmから1100nmの半導体レーザ装置のように、発振波長を決定するために活性層の組成が制限されたり、良好な特性が得られない場合に、上記構成による本発明を適用することはより効果的である。

【0021】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面を用いて詳細に説明する。

【0022】図1は本発明の第1の実施の形態による発振波長1060nm帯の半導体レーザ素子の積層方向の断面図を示す。

【0023】本実施の形態による半導体レーザ素子の活性層はInGaAsであり、基板との格子定数差が大きく、大きな圧縮歪みが活性層に加わる構造となっている。

【0024】図1に示すように、本実施の形態による半導体レーザ素子は、n型GaAs基板（キャリア濃度 $7 \sim 20 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）11上に、有機金属気相成長（MOCVD）法、あるいは、分子線エピタキシー（MBE）法により、厚さ200～600nm程度のn型GaAs（キャリア濃度 $7 \sim 20 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）バッファ層12、厚さ2μmのn型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（キャリア濃度 $5 \sim 15 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）クラッド層13、厚さ100nmのAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As→Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>As<sub>0.74</sub>P<sub>0.26</sub>（ノンドープ）組成及び歪み傾斜バリア層14、厚さ5nmのIn<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As（ノンドープ）活性層15、厚さ100nmのAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>As<sub>0.74</sub>P<sub>0.26</sub>→Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（ノンドープ）組成及び歪み傾斜バリア層16、厚さ400nmのp型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（キャリア濃度 $5 \sim 20 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）クラッド層17、厚さ4～10nm程度のp型In<sub>0.464</sub>Ga<sub>0.516</sub>P（キャリア濃度 $5 \sim 15 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）エッチングストップ層18、厚さ1.6μmのp型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（キャリア濃度 $5 \sim 20 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）クラッド層19、厚さ150～500nm程度のp型GaAs（キャリア濃度 $5 \sim 30 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）コンタクト層が順次積層された結晶からなるものである。

【0025】図2に、このようにして積層された結晶のエネルギーギャップを示す。図2に示すように、活性層15は基板に対して圧縮歪みを有している。また、エネルギーギャップ（E<sub>g</sub>）がクラッド層から活性層に向かって小さくなっており、このような構造が、いわゆるGRIN-SCH（Graded-Index-Separate-Confinement-Heterostructure）と呼ばれる構造である。

【0026】図3に、積層された結晶のGaAsに対する格子定数を示す。図3の縦軸に積層方向の構造を示し、横軸に、この結晶層のGaAsに対する格子定数を示している。図3に示すように、本実施の形態における



半導体レーザ素子の構造が、従来のGRIN-SCH構造と異なるのは、図1で示したバリア層14の格子定数が、クラッド層13とバリア層14の界面から活性層15に向かって徐々に小さくなるようにしたことである。また、もう一つのバリア層16についても同様である。2つのバリア層の歪みは活性層の歪みとは逆の、引っ張り歪みを有している。

【0027】このように、活性層の歪みとは逆の歪みをバリア層に持たせることによって、活性層の圧縮歪が引っ張り歪みを持つバリア層によって補償される。また、バリア層の歪みを傾斜させることにより、バリア層でのバンドオフセットの変化を小さくすることができ、GRIN-SCH構造の持つ素子抵抗低減効果と、キャリア注入の高効率化を最大限に活用できる。

【0028】次に、前述した結晶の素子化の工程についてリッジ構造を例に述べる。結晶成長後の試料に、通常のフォトリソグラフィ工程により、リッジエッチング加工用のレジストパターンを作成し、例えば、酒石酸系エッチング液によって、p型GaAsコンタクト層とp型AlGaAsクラッド層をエッチング除去する。このとき、エッチングストップ層p型InGaPは酒石酸系エッチング液に対して、p型GaAsコンタクト層とp型AlGaAsクラッド層と比較して、非常にエッチング速度が遅いため、適当なエッチング時間でエッチングすることにより、容易にリッジ形状が得られる。その後、レジストパターンを除去し、その上に、SiO<sub>2</sub>やSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>などの誘電体膜を100~200nm程度堆積する。

【0029】次に、電極接触用の窓をリッジ頂上部に開けるために、先に述べたフォトリソグラフィ工程により、レジストをパターニングし、フッ素系ガスを用いたアクティブイオンエッチングなどの方法により、リッジ頂上部の誘電体膜をエッチング除去する。その後、例えばTi/Pt/Au（各々の膜厚は、例えば50nm/80nm/300nm）の順に電子ビーム蒸着法などにより蒸着し、p側電極を形成する。次に、劈開により共振器の作成を容易にするために、試料の厚さを120~150μm程度まで研磨し、n側電極を電子ビーム蒸着法や抵抗加熱蒸着法を組み合わせ、例えば、AuGe/Ni/Auの順に、膜厚を50nm、30nm、300nm程度で堆積する。その後、電極のオーム性接触を得るために、400℃、1分程度電極を反応させる。

【0030】次に、所定の位置で、かつ所定の間隔、例えば750μm間隔にてバー状に劈開し、劈開された各々の端面に誘電体膜によるコーティングを以下のように実施する。ここで、誘電体膜がコーティングされた図を、後で劈開してできる1個の半導体レーザ素子の図を図4に示す。バー劈開された光出射面に、発振波長950nmに対する反射率が例えば10%程度になるように、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜41を所定の膜厚、例えばイオンアシス

ッド電子ビーム蒸着法などにより堆積する。さらに、反対側の端面には同様の手法を用いて発振波長1060nmに対する反射率が例えば80%以上になるように、第1層42をAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、第2層43をTiO<sub>2</sub>、第3層44をSiO<sub>2</sub>、第4層45をTiO<sub>2</sub>、第5層46をSiO<sub>2</sub>、第6層47をTiO<sub>2</sub>、第7層48をSiO<sub>2</sub>にして、誘電体多層膜を所定の厚さに堆積する。

【0031】その後、半導体レーザ素子のバー状の試料を所定の位置にて劈開し、図4のようにチップ化する。その後、各々のチップの電氣的評価選別を行い、半導体レーザチップをジャンクションアップ方式にて、例えば、錫、銀、銅、ビスマス(Su/Ag/Cu/Bi)系の鉛のフリーハンダなどを用いて上下面がメタライズしてあるセラミックヒートシンクにハンダ付けする。その後、半導体レーザチップの搭載されたヒートシンクを銅製のヘッダーにハンダ付けなどにより接着する。その後、銅製ヘッダーとは電氣的絶縁された上面メタライズしてあるアルミナなどのセラミック上と半導体レーザ素子のプラス側、マイナス側の各々を金ワイヤーにて、加熱併用超音波ボンディングにて結線し、半導体レーザ素子を完成させる。

【0032】このようにして作成された半導体レーザ装置は、活性層が強い圧縮歪をもっているにもかかわらず、素子抵抗が低く、ひいては素子発熱などの無駄な電力消費を低減でき、発光効率が高い、経時信頼性の高い、良好なデバイスを得ることができる。

【0033】次に、本発明の第2の実施の形態による950nm帯の半導体レーザ素子について説明し、図5にその半導体レーザ素子の積層方向の構造を示す。

【0034】図5に示すように、n型GaAs（キャリア濃度 $7 \sim 2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）基板51上に、有機金属気相成長法(MOCVD)あるいは分子線エピタキシー(MBE)法などにより、厚さ200~600nm程度のn型GaAs（キャリア濃度 $7 \sim 2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）バッファ層52、厚さ2μmのn型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（キャリア濃度 $5 \sim 1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）クラッド層53、厚さ100nmのAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As→Al<sub>0.24</sub>In<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（ノンドープ）組成及び歪み傾斜バリア層54、厚さ9nmのIn<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>As（ノンドープ）活性層55、厚さ100nmのAl<sub>0.24</sub>In<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.6</sub>As→Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（ノンドープ）組成及び歪み傾斜バリア層56、厚さ400nmのp型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（キャリア濃度 $5 \sim 2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）クラッド層57、厚さ4~10nm程度のp型In<sub>0.48</sub>Ga<sub>0.516</sub>P（キャリア濃度 $5 \sim 1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）エッチングストップ層58、厚さ1.6μmのp型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As（キャリア濃度 $5 \sim 2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）クラッド層59、厚さ150~500nm程度のp型GaAs（キャリア濃度 $5 \sim 3.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）コンタクト層60を順次積層し、結晶層を形成する。

【0035】本構造のエネルギーギャップを図6に示し、図7にGaAsに対する格子定数を示す。

【0036】この構造の特徴は、図6に示すように、エネルギーギャップ ( $E_g$ ) がクラッド層53および57から活性層55に向かって小さくなっているGRIN-SCH構造であり、かつ、図7に示すように、バリア層54の格子定数が、クラッド層53側から、活性層55に向かって徐々に大きくなるようにしたことにある。また、もう一つのバリア層56についても同様である。これにより、活性層55の圧縮歪みが、同じ圧縮歪みを持つバリア層によってより大きな歪みを受ける。この950nm帯のレーザでは活性層の歪みが小さく、歪みによるレーザの特性改善が小さいことが一つの問題であった。しかし、本実施の形態のように、バリア層から活性層に歪みを傾斜させることにより、バリア層でのバンドオフセットの変化を小さくすることができ、GRIN-SCH構造の持つ素子抵抗低減効果と、キャリア注入の高効率化を最大限に活用できる。

【0037】もちろん、活性層の歪みを大きくする別の方法として、例えば活性層そのものにAlInGaAsを用い、Inを増やすことによっても950nmのレーザ発振が可能であるが、活性層にAlを含む材料を用いると、レーザ端面の酸化などに起因した欠陥などにより、デバイスの信頼性が低下するなどの問題が生じる。本実施の形態では、活性層にはAlを含まないInGaAsであるため、高い信頼性が得られる。

【0038】次に本発明の第3の実施の形態による半導体レーザ素子について説明し、その層構成と格子定数を図8に示す。本実施の形態による半導体レーザ素子の積層構造は、GaAs基板81上に、バッファ層82、Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層83、Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As→Al<sub>0.3</sub>In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.5</sub>As組成及び歪み傾斜バリア層84、In<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>As活性層85、Al<sub>0.30</sub>In<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.50</sub>As→Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As組成及び歪み傾斜バリア層86、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層87、p型In<sub>0.484</sub>Ga<sub>0.516</sub>Pエッチングストップ層88、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層89、p型GaAsコンタクト層90を順次積層されてなるものである。

【0039】本実施の形態による半導体レーザ素子は、第2の実施の形態による半導体レーザ素子と同様に、活性層の圧縮歪みが小さい場合であり、特徴となるのは、バリア層の圧縮歪みが活性層に向かって徐々に大きくなっており、かつ、バリア層の圧縮歪みを活性層の近傍で活性層より大きくしたことである。これにより、さらなる低しきい値電流化、低消費電力化等の特性の改善が可能である。

【0040】次に本発明の第4の実施の形態による半導体レーザ素子について説明し、その結晶層の格子定数を図9に示す。本実施の形態による半導体レーザ素子は、GaAs基板91上に、バッファ層92、Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As

sクラッド層93、Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As→Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As→Al<sub>0.3</sub>In<sub>0.26</sub>Ga<sub>0.44</sub>As組成及び歪み傾斜バリア層94、In<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>As活性層95、Al<sub>0.3</sub>In<sub>0.26</sub>Ga<sub>0.44</sub>As→Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As→Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As組成及び歪み傾斜バリア層96、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層97、p型In<sub>0.484</sub>Ga<sub>0.516</sub>Pエッチングストップ層98、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層99、p型GaAsコンタクト層100を順次積層されてなるものである。

【0041】本実施の形態による半導体レーザ素子は、第2および第3の実施の形態と同様に活性層の圧縮歪みが小さいものである。特徴となるのは、バリア層の圧縮歪みがバリア層の途中から活性層に向かって徐々に大きくなっており、かつ活性層の近傍で活性層より大きくなっていることである。

【0042】本実施の形態のように、歪みのある結晶を成長する際には、臨界膜厚が存在し、歪みが大きいほど膜厚が制限されることがある。よって、バリア層の途中から活性層に向けて歪みを入れることにより、バリア層厚の影響を受けずに、活性層近傍でより大きな歪みを持つ結晶を成長することができ、活性層に効果的に圧縮歪みを加えることができる。

【0043】次に本発明の第5の実施の形態による半導体レーザ素子について説明し、その結晶層のエネルギーギャップを図10に示し、格子定数を図11に示す。

【0044】本実施の形態の半導体レーザ素子は、GaAs基板101上に、バッファ層102、Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層103、Al<sub>z1</sub>In<sub>y1</sub>Ga<sub>z1</sub>As→Al<sub>z2</sub>In<sub>y2</sub>Ga<sub>z2</sub>As ( $z1=1-x1-y1$ ,  $z2=1-x2-y2$ ) 組成及び歪み傾斜下部バリア層104、In<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>As活性層105、Al<sub>z2</sub>In<sub>y2</sub>Ga<sub>z2</sub>As→Al<sub>z1</sub>In<sub>y1</sub>Ga<sub>z1</sub>As ( $z1=1-x1-y1$ ,  $z2=1-x2-y2$ ) 組成及び歪み傾斜上部バリア層106、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層107、p型In<sub>0.484</sub>Ga<sub>0.516</sub>Pエッチングストップ層108、p型Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Asクラッド層109、p型GaAsコンタクト層110が順次積層されてなるものである。

【0045】組成及び歪み傾斜下部バリア層104において、Alの組成比はクラッド層103側から活性層に向かってx1からx2へ変化し、Inの組成比はy1からy2へ変化するものである。例えば、Alの組成比は、x1=0.4からx2=0.24へ膜厚の増加に対して指数関数的に減少させ、Inの組成比は、y1=0からy2=0.16へ膜厚の増加に対して指数関数的に増加させる。

【0046】また、組成及び歪み傾斜上部バリア層106において、Alの組成比は活性層側からp型クラッド層107に向かってx2はx1へ変化し、Inの組成比はy2はy1へ変化するものである。例えば、Alの組成比は、x2=0.24からx1=0.4へ膜厚の増加に対して指数関数的に増加させ、Inの組成比は、y2=

0.16から $y_1=0$ へ膜厚の増加に対して指数関数的に減少させる。

【0047】本実施の形態による半導体レーザ素子の構造は、図10に示すように、バリア層104および106のエネルギーギャップは上記の組成変化に従ってクラッド層103および107から活性層105に向かって指数関数的に小さくなっており、かつ、図11に示すように、バリア層104および106の格子定数は活性層105と同様の圧縮歪みを有するように指数関数的に増加している。

【0048】上記第1から第4の実施の形態による半導体レーザ素子においては、バリア層の屈折率と格子定数が単調に変化している場合について述べたが、本実施の形態に示すように、バリア層の屈折率と格子定数が指数関数的に変化していてもよく、上記実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶の積層方向の断面構造を示す図

【図2】第1の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶のエネルギーギャップを示す図

【図3】第1の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶の格子定数を示す図

\*【図4】第1の実施の形態による半導体レーザ素子を示す斜傾図

【図5】第2の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶の積層方向の断面構造を示す図

【図6】第2の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶のエネルギーギャップを示す図

【図7】第2の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶の格子定数を示す図

10 【図8】第3の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶の格子定数を示す図

【図9】第4の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶の格子定数を示す図

【図10】第5の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶のエネルギーギャップを示す図

【図11】第5の実施の形態による半導体レーザ素子を構成する結晶の格子定数を示す図

【符号の説明】

11, 51, 81, 91, 101 GaAs基板

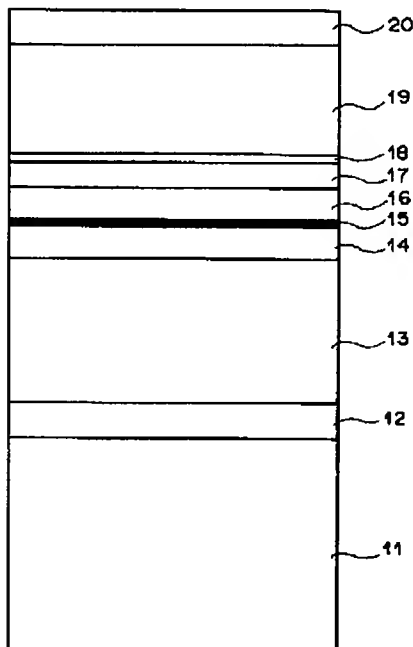
13, 17, 19, 53, 57, 59, 83, 87, 89, 93, 97, 99, 103, 107, 109

20 クラッド層

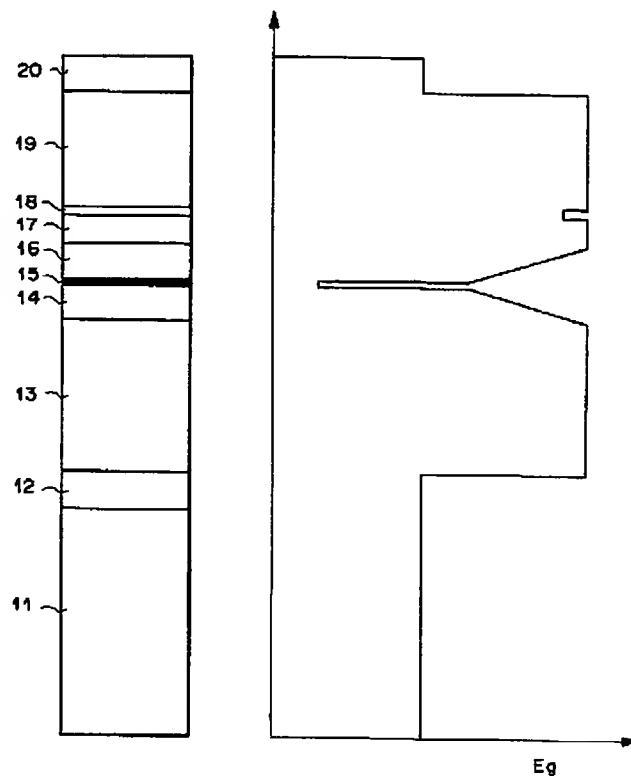
14, 16, 54, 56, 84, 86, 94, 96, 104, 106 バリア層

\* 15, 55, 85, 95, 105 活性層

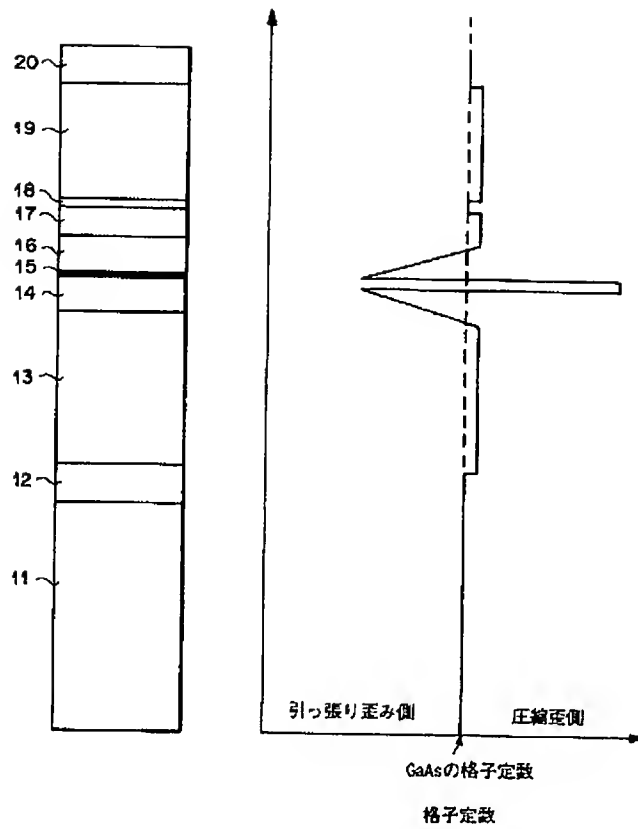
【図1】



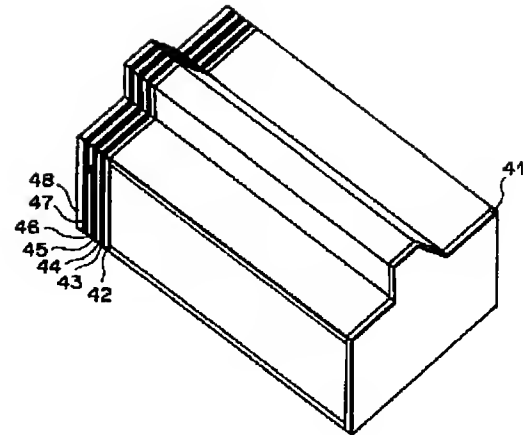
【図2】



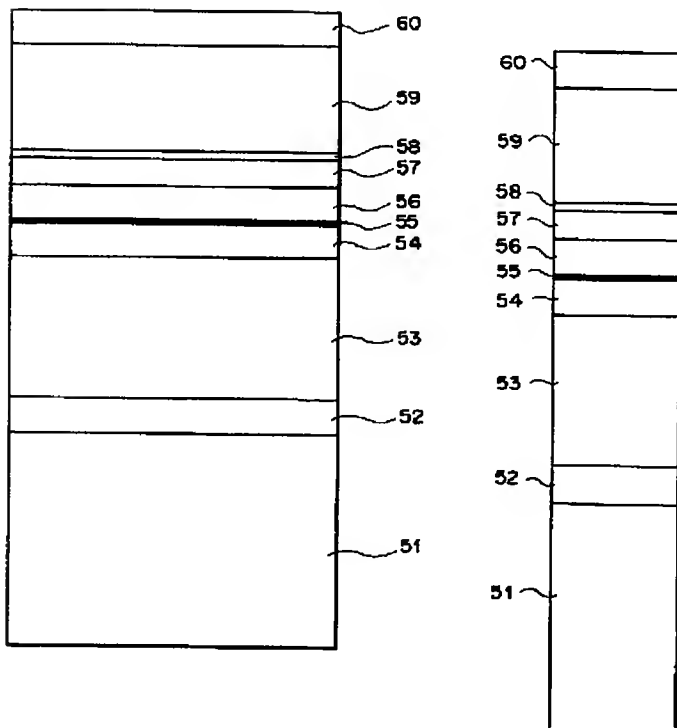
【図3】



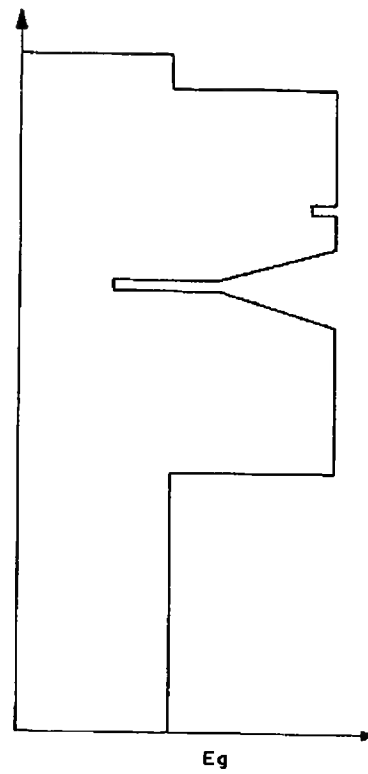
【図4】



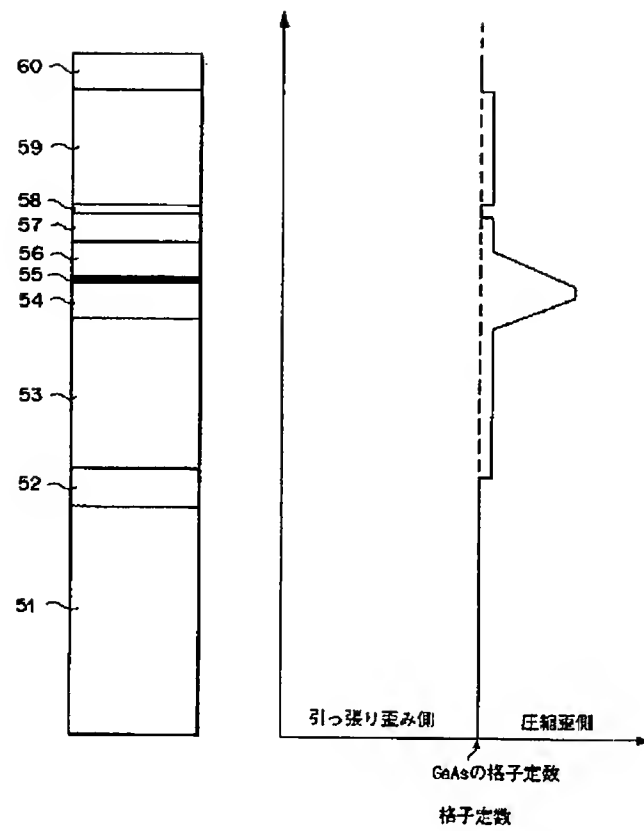
【図5】



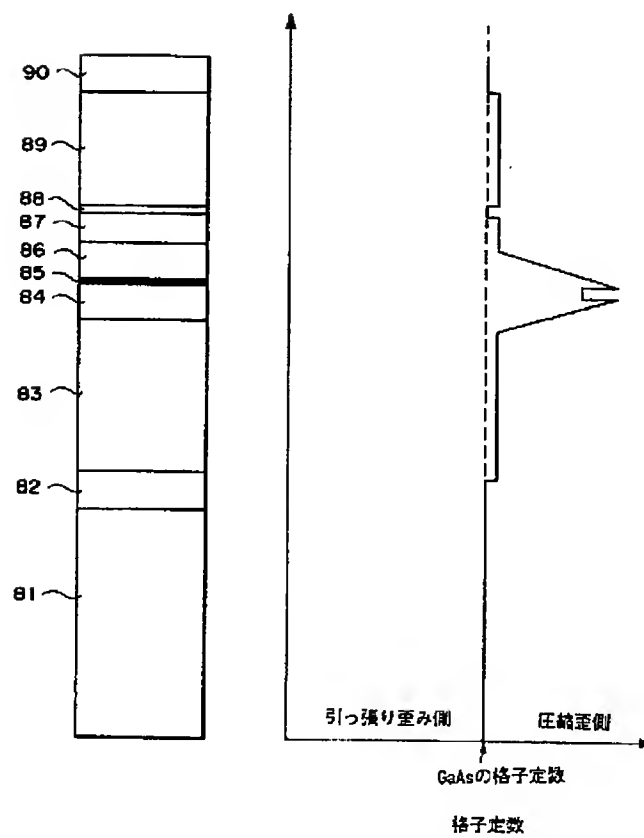
【図6】



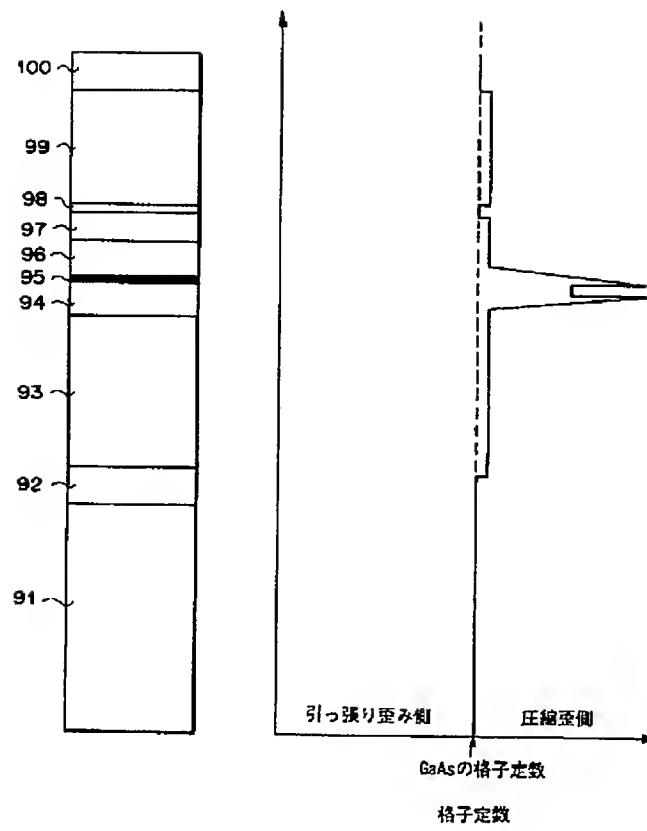
【図7】



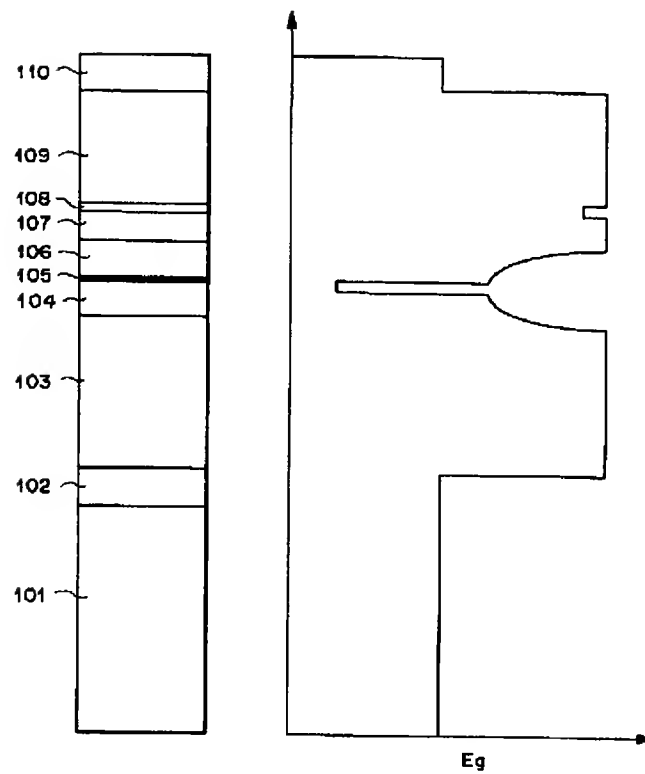
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

